

探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的实践效果研究

张镜威

湖北交投智能检测股份有限公司 湖北 武汉 430050

【摘要】：探地雷达技术作为一种无损检测手段，广泛应用于公路隐蔽性病害检测。本文分析了其应用现状与局限性，提出了硬件优化、数据处理改进、人员培训完善、多技术融合及智能化提升等策略，通过实际工程案例验证了其在检测精度、数据处理效率和多场景适用性方面的显著提升。结果表明，优化后的探地雷达技术能够高效、准确地识别公路隐蔽性病害，为公路养护提供了有力支持，未来需进一步提高抗干扰能力和智能化水平。

【关键词】：探地雷达；公路隐蔽性病害；无损检测；技术优化；工程应用

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.048

引言

公路基础设施的安全运营依赖于对隐蔽性病害的及时检测与修复。探地雷达技术凭借其无损、高效的特点，成为公路病害检测的重要手段。然而，其在实际应用中仍面临诸多挑战，如检测精度不足、数据处理复杂、操作规范欠缺等。因此，深入研究探地雷达技术的优化策略及其在公路隐蔽性病害检测中的实践效果，对于提升公路养护水平具有重要意义。

1 探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的应用现状与分析

随着公路基础设施的不断建设和使用年限的增加，隐蔽性病害的检测成为保障公路安全运营的关键环节。探地雷达技术作为一种无损检测手段，已被广泛应用于公路隐蔽性病害的探测，但在实际应用中仍面临诸多问题，其应用现状、技术原理、优势与局限以及存在的问题均需深入剖析，以明确技术改进的方向。

(1) 探地雷达技术的基本原理与技术特点

探地雷达技术是一种无损检测手段，通过发射高频电磁波探测地下介质。电磁波在不同介质中传播时，遇到介质界面会发生反射。通过接收反射波并分析其波形、振幅和传播时间等参数，可获取地下结构信息。例如，在公路检测中，电磁波能清晰反映路基空洞、路面层间脱空等病害，为公路养护提供依据。探地雷达技术具有显著的技术特点。首先，它能够快速、无损地获取地下信息，检测效率高，对交通影响小。其次，该技术分辨率高，可在不同深度清晰分辨公路内部结构层次和病害位置。

(2) 探地雷达技术的应用现状

探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测领域已广泛应用并取得显著成效。目前，该技术被多个省份广泛应用于公路路基、路面以及桥梁等基础设施的检测中，成功识别并修复了多处隐蔽性病害，有效提高了公路的安全性和使用寿命。其高效、无损的检测特性，使其成为公路养护和维修的重要技术手段，为保障公路基础设施的稳定运行提供了有力支持。

(3) 探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的局限性

尽管探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中具有诸多优势，但在实际应用中也存在一些局限性。首先，探地雷达的检测结果易受外界环境因素的影响，如电磁干扰、土壤含水量等，这些因素可能导致检测信号失真，影响病害识别的准确性。其次，探地雷达技术对病害的定量分析能力有限，难以精确确定病害的尺寸和严重程度。此外，探地雷达设备的造价较高，且操作人员需要具备一定的专业知识和经验，这也限制了其在一些地区的广泛应用。

(4) 探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的实际问题

在公路隐蔽性病害检测的实际应用中，探地雷达技术面临着诸多问题。一方面，由于公路结构的复杂性和多样性，探地雷达信号的解释存在一定的难度，容易出现误判或漏判的情况。例如，在检测沥青路面时，由于沥青的电磁特性与周围介质相近，可能导致病害信号的识别不够准确。另一方面，探地雷达技术在检测深度和分辨率之间存在一定的矛盾，为了提高检测深度，往往需要降低分辨率，这可能影响对浅层病害的检测效果。此外，探地雷达技术在实际应用中还存在数据处理复杂、现场操作条件要求高等问题，这些问题都需要通过技术改进和优化来解决。

(5) 探地雷达技术应用问题的成因分析

探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中出现的问题，其成因是多方面的。从技术层面来看，探地雷达的信号传播和反射机制较为复杂，受到多种因素的综合影响，导致信号解释存在不确定性。从设备性能方面来看，现有的探地雷达设备在抗干扰能力、信号处理精度等方面仍有待提高。从人员操作方面来看，操作人员的专业技术水平和经验对检测结果的准确性影响较大，缺乏统一的操作规范和培训体系也是导致问题的重要原因之一。此外，公路隐蔽性病害的复杂性和多样性也增加了探地雷达技术应用的难度，需要进一步优化技术方法和检测流程，以提高检测的可靠性和准确性。

2 探地雷达技术优化及公路隐蔽性病害检测问题的解决策略

针对探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中所面临的技术局限性、实际应用问题以及成因分析,提出了一系列优化策略和解决方案,旨在通过技术改进、设备升级、数据处理优化、操作规范完善以及多技术融合等手段,全面提升探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的应用效果,解决当前存在的技术瓶颈和实际问题。

(1) 探地雷达技术的硬件优化

为了克服探地雷达在抗干扰能力和信号分辨率方面的不足,硬件优化是关键。一方面,通过改进天线设计,采用宽频带、高增益的天线,能够有效提高雷达信号的穿透能力和抗干扰性能,同时增强对浅层病害的检测精度。另一方面,研发新型的信号发射和接收模块,降低信号噪声,提高信噪比,从而增强对微弱病害信号的探测能力。此外,结合现代电子技术,优化雷达系统的电路设计,使其在复杂环境下仍能稳定运行,进一步提升探地雷达技术的可靠性。

(2) 数据处理与分析方法的改进

探地雷达数据的处理和分析是病害识别的关键环节。传统的数据处理方法往往依赖于人工经验,效率低且易出错。为此,引入先进的信号处理算法和图像识别技术,如小波变换、神经网络等,能够自动提取病害特征,提高病害识别的准确性和效率。同时,开发智能化的数据分析软件,结合公路工程的实际需求,建立病害特征数据库,实现对不同病害类型的自动分类和定量分析。通过这些改进,可以有效解决数据处理复杂和病害识别不准确的问题,为公路隐蔽性病害的快速检测提供有力支持。

(3) 操作规范与人员培训体系的完善

操作人员的专业水平和操作规范直接影响探地雷达检测结果的可靠性。因此,建立一套完善的人员培训体系至关重要。培训内容应涵盖探地雷达技术的基本原理、设备操作、数据处理以及病害识别等方面,通过理论与实践相结合的方式,提高操作人员的专业技能。同时,制定统一的操作规范和标准流程,明确检测步骤、参数设置以及数据记录要求,减少人为因素对检测结果的影响。此外,定期组织技术交流和培训活动,更新操作人员的知识体系,使其能够及时掌握新技术和新方法,进一步提升探地雷达技术的应用水平。

(4) 多技术融合的检测方案

公路隐蔽性病害的复杂性决定了单一技术难以满足全面检测的需求。因此,将探地雷达技术与其他检测技术相结合,形成多技术融合的检测方案,是解决当前技术瓶颈的有效途径。例如,结合地质钻探技术,对探地雷达检测到的可疑病害区域进行验证,提高病害识别的准确性;利用红外热成像技术

检测路面温度分布,辅助判断路面内部是否存在水分渗入或结构损坏;结合车载激光扫描技术,获取公路表面的三维形貌信息,与探地雷达数据进行综合分析,全面评估公路的健康状况。通过多技术融合,能够充分发挥各技术的优势,弥补单一技术的不足,为公路隐蔽性病害的检测提供更全面、更准确的解决方案。

(5) 提升设备智能化与自动化水平

随着科技的不断进步,智能化和自动化成为探地雷达技术发展的趋势。通过引入自动化控制系统,实现探地雷达设备的自动扫描、数据采集和初步分析,减少人工干预,提高检测效率和数据质量。同时,利用物联网技术,将探地雷达设备与远程监控系统连接,实现数据的实时传输和远程监控,便于技术人员及时掌握检测进度和结果。此外,开发基于人工智能的故障诊断系统,能够自动识别设备运行中的异常情况,及时进行预警和维护,确保设备的稳定运行。通过提升设备的智能化与自动化水平,不仅能够解决现场操作条件要求高的问题,还能进一步提高探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的应用效率和可靠性。

3 探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的实践效果评估

为全面评估探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的实践效果,需从检测精度、数据处理效率、模型性能提升、多场景适用性以及实际工程案例验证等多方面展开分析。通过结合实际工程案例中的数据和应用结果,深入探讨探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的有效性与可靠性,为后续技术优化和工程应用提供参考依据。

(1) 检测精度的提升与验证

在公路隐蔽性病害检测中,探地雷达技术的检测精度是衡量其应用效果的关键指标之一。近年来,通过引入先进的信号处理算法和特征提取方法,探地雷达技术在检测精度上取得了显著提升。例如,在凯里养护路段的路面内部结构探地雷达实测中,结合改进的YOLOv8模型对探地雷达图像进行检测,结果显示,改进的YOLOv8模型对中等及以上裂缝宽度的探地雷达图像识别精确率达到90%以上,对微小裂缝的识别精确率也在85%以上。此外,通过特征融合和深度学习算法的应用,探地雷达技术在空洞病害识别中的精确率提升了5.0%,召回率提升了7.6%,F1值提升了7.8%,AP_{0.5}提升了5.9%。这些结果表明,探地雷达技术在检测精度上的提升为公路隐蔽性病害的准确识别提供了有力支持。

(2) 数据处理效率的优化与应用

探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的应用不仅需要高精度的检测结果,还需要高效的数据处理能力。通过引入自动化数据处理流程和智能化分析算法,探地雷达技术的数据处

理效率得到了显著提升。例如，基于深度学习的目标检测模型能够自动提取探地雷达图像中的病害特征，减少了人工干预和数据处理时间。此外，通过优化数据处理算法，探地雷达技术在检测过程中能够实时处理数据，满足实际工程中的快速检测需求。这种高效的数据处理能力使得探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中更具实用性和经济性。

(3) 模型性能提升与多场景适用性

探地雷达技术在不同场景下的适用性是其广泛应用的重要前提。研究表明，通过自适应课程学习和数据增强策略，探地雷达技术在不同场景下的检测性能得到了显著提升。例如，在城市道路、干线公路和高速公路等不同场景下，探地雷达技术通过优化模型训练策略，能够有效应对复杂环境中的信号干扰和病害特征差异。此外，通过构建包含不同场景的探地雷达道路隐伏病害数据集，并采用自适应课程学习训练框架，检测模型的综合检测精度达到了87.99%，较传统随机训练提高了6.31%。这些结果表明，探地雷达技术在多场景下的适用性得到了有效提升，能够满足不同公路类型和环境条件下的隐蔽性病害检测需求。

(4) 实际工程案例验证与应用效果

实际工程案例是评估探地雷达技术实践效果的重要依据。在某公路养护项目中，探地雷达技术被应用于沥青路面及水稳层的无损检测。检测结果显示，探地雷达技术能够准确识别路

面内部的裂缝、空洞等隐蔽性病害，检测结果与现场钻芯取样验证结果高度一致。此外，探地雷达技术在检测过程中表现出高效、无损、可重复性强等优点，大大减少了对路面的破坏程度，同时提高了检测效率和精度。通过实际工程案例的验证，探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中的应用效果得到了充分证明，为公路养护和维修提供了有力的技术支持。

(5) 技术改进与未来发展方向

尽管探地雷达技术在公路隐蔽性病害检测中取得了显著的应用效果，但仍存在一些需要改进的方向。例如，进一步提高探地雷达技术在复杂环境下的抗干扰能力，优化数据处理算法以减少误判和漏判现象，以及开发更高效的多技术融合检测方案，都是未来研究的重点方向。此外，随着人工智能和大数据技术的不断发展，探地雷达技术有望通过智能化分析和自动化处理实现更高效、更精准的病害检测。

6 结语

通过对探地雷达技术的优化与实践应用研究，明确了其在公路隐蔽性病害检测中的优势与不足。硬件改进、数据处理优化、人员培训完善以及多技术融合等策略有效提升了检测精度与效率，增强了技术的实用性和可靠性。未来，随着智能化技术的不断发展，探地雷达技术有望在抗干扰能力、自动化水平和多场景适用性方面取得更大突破，为公路基础设施的安全运营提供更有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 陈旭,李鹏.基于探地雷达的公路隐蔽性病害检测技术研究[J].公路工程,2023,48(4):102-108.
- [2] 刘建华,赵玲.探地雷达在道路病害检测中的应用与发展[J].交通科学与工程,2022,19(5):89-94.
- [3] 许宁,郑凯.探地雷达技术在公路养护中的应用效果分析[J].高速公路技术,2021,22(2):45-51.
- [4] 王蕾,张海.公路隐蔽性病害检测的技术进展与应用前景[J].交通科技与管理,2024,31(3):112-118.
- [5] 陈志强,李婷婷.探地雷达与激光扫描技术融合在公路病害检测中的应用研究[J].建筑与交通,2022,35(6):153-159.